

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**Hornicko-geologická fakulta
Institut geodézie a důlního měřictví**



**ZAMĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ POSUNŮ A DEFORMACE
OPĚRNÉ ZDI Č. 8223 NA DÁLNICI D47**

Bakalářská práce

Autor:

Lubomír Hanák

Vedoucí práce:

Ing. Jiří Pospíšil

Ostrava 2012

Prohlášení

- Celou bakalářskou práci, včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu. Pro srovnání výsledných hodnot s předešlými etapami měření jsem využil výsledky předešlých měření, které mi byly dány k dispozici pracovníky VŠB-TU Ostrava, pro zpracování bakalářské práce.
- Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 30. 4. 2012

Lubomír Hanák



Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu této práce, ing. Jiřímu Pospíšilovi, za trpělivost, cenné rady a důkladné konzultace.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině za veškerou podporu, jak při studiu, tak při tvorbě této práce.

Anotace

Tato bakalářská práce se zaměřuje na problematiku posunů a deformací stavebních objektů, především tedy jejich geodetickým zaměřením a následným vyhodnocením. Popisuji zde postup při řešení zadaného úkolu a zvolené metody. Výsledkem je srovnání naměřených posunů v jednotlivých etapách měření tak, aby byl zřejmý vývoj deformací v určitém časovém horizontu.

Klíčová slova

Dálnice D47, opěrná zeď č. 8223, svislý posun, vodorovný posun, deformace

Summary

This bachelor's dissertation is focused on displacement and structural deformation of structures, specifically on geodetic survey, consecutive processing and data evaluations. Description of methods and procedures, used for solving a given tasks, can also be found in this dissertation. Result is overall comparison of measured shifts in each stage of survey, so that deformation emergence in selected time frame is obvious.

Keywords

Motorway D47, abutment wall no. 8223, vertical shift, horizontal shift, deformation

Obsah

1	Úvod	7
1.1	Dálnice D47.....	8
1.2	Opěrná zeď č. 8223	8
2	Problematika pohybů a deformací.....	10
2.1	Určování posunů ve vertikální rovině.....	10
2.2	Určování posunů ve vodorovné rovině	10
2.3	Prostorové určování posunů objektů	11
3	Měření posunů opěrné zdi č. 8223	12
3.1	Popis lokality	12
3.2	Svislé posuny	12
3.3	Vodorovné posuny	17
4	Závěrečná prezentace naměřených posunů a deformací.....	28
5	Závěr.....	29
	Seznam použité literatury a zdrojů	30
	Seznam obrázků	31
	Seznam tabulek	32

Seznam použitých zkratek

PN	- Přesná nivelace
VPN	- Velmi přesná nivelace
S-JTSK	- Souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
MÚK	- Mimoúrovňová křižovatka
SS	- Souřadnicový systém
LVS	- Lokální vytyčovací síť
TS	- Totální stanice
Z	- Výchozí poloha bodu (základní etapa)

1 Úvod

Deformace stavebních objektů jsou problémem, který nelze podceňovat a vzniká tak potřeba kontinuálního monitorování svislých a horizontálních posunů. Zvláštní pozornost je věnována projektům, ve kterých figurují zvláštní okolnosti. Konkrétně při zavádění nových konstrukčních systémů, při citlivosti objektu na posuny a deformace, dále pokud se při výstavbě nebo užívání objeví známky poruch a také v poddolovaném území. Zohledňuje se i význam objektu, ať už hovoříme o společenské či hospodářsko-ekonomické hodnotě. Deformace bývají způsobeny nejčastěji nedostatečným zohledněním stavu a typu základové půdy v projektu, nekvalitním provedením stavebních prací, nekvalitním materiálem, vlivem výkyvů teplot či vlivy poddolování. Všechny tyto vlivy negativním způsobem ovlivňují funkčnost a bezpečnost užívání objektu.

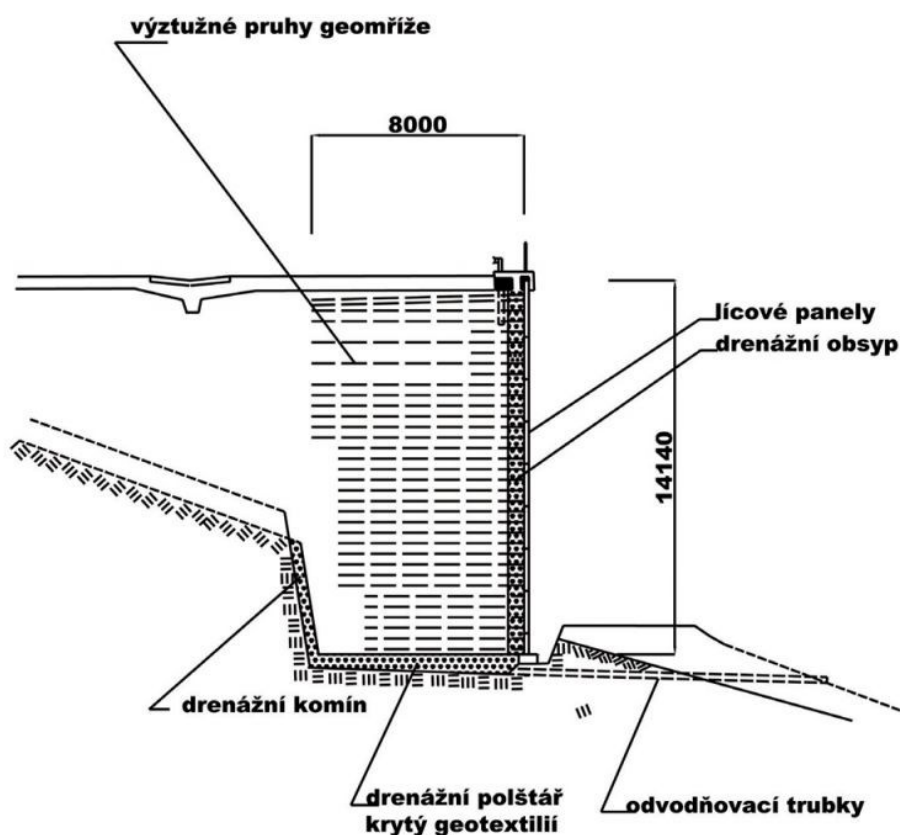
Zvláštní kapitolou jsou pak deformace objektů, jež jsou nedílnou součástí liniových staveb, jako například mosty a jejich opěrné prvky, propusti, tunely apod. Deformace na těchto objektech jsou mimořádně nežádoucí, neboť mohou ochromit celé úseky liniových staveb. Konkrétním objektem, kterým se budeme v této práci zabývat, je právě opěrná zeď č. 8223 na dálnici D47.

1.1 Dálnice D47

Hlavním významem dálnice D47 je doplnění dálničního připojení Ostravy na existující dálniční síť České republiky. Mimo zlepšení tranzitní efektivity a celkové odlehčení dopravy na nyní přetížených silnicích I/47, I/35 a I/48 je důležitým aspektem pro vstup významných investorů do regionu. V současnosti se označení D47 užívá již jen v technické dokumentaci, v roce 2006 byla přesunuta pod projekt dálnice D1.

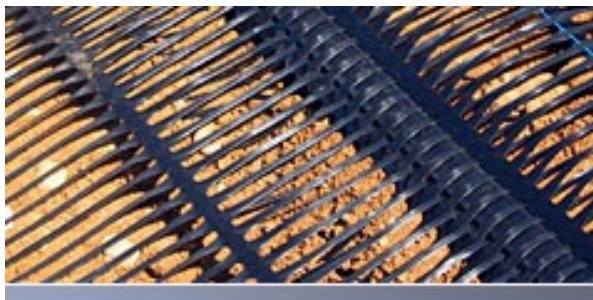
1.2 Opěrná zeď č. 8223

Monitorovaná opěrná zeď leží mezi 154. a 155. kilometrem a je součástí MÚK Místecká. Konstrukční systém zdi vychází z postupu, při kterém se vodorovná řada betonových lícových prefabrikátů zasypává do poloviny své výšky. Zásyp se provádí obvykle po vrstvách 40 cm vysokých, zhutněných a proložených výztužnými pruhy jednoosé geomříže Tensar 120 RE.



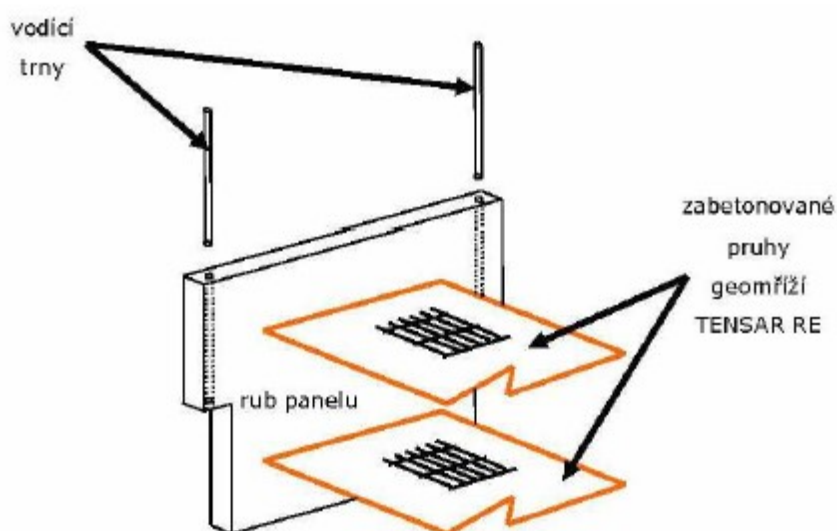
Obr. 1 Příčný řez konstrukcí zdi

Tyto geomříže jsou certifikovány pro použití v opěrných konstrukcích s životností 120 let. Žebra této polymerové geomříže jsou orientována příčně ke směru zatížení a vytváří tak řadu opěrných bodů (ukotvení). Vytváří se tak vysoce účinný mechanismus přenosu napětí pomocí interakce mezi zeminou a geomříží.



Obr. 2 *Geomříž Tensar RE*

Velkoplošné lícové dělené deskovité prvky tvoří železobetonové prefabrikované panely o tloušťce 18 cm. První vrstva panelů se ukládá na vyrovnávací práh z prostého betonu, panely ve vyšších řadách se ukládají na pružné podložky, zajišťující jednotnou tloušťku svislých a vodorovných spár. Panely jsou spojeny svislými ocelovými naváděcími tyčemi.



Obr. 3 *Konstrukční schéma*

2 Problematika pohybů a deformací

Ve smyslu ČSN 73 0405 z roku 1997 [1] za posun považujeme prostorovou změnu polohy objektu vzhledem k poloze původní, případně zjištěné v předchozím měření. Tedy rozdílem odpovídajících si souřadnic základní a libovolné další etapy, vyjádřených v témže, často v místním, souřadnicovém systému. Přetvoření (deformaci) zpravidla neměříme, ale odvozujeme ji z naměřených posunů. Ve směru vertikálním rozlišujeme pokles a zdvih, což jasně souvisí se směrem posunu.

2.1 Určování posunů ve vertikální rovině

Tyto posuny je zvláště důležité sledovat při stavbě v poddolovaném území. Případné odchylky se vztahují k počáteční poloze objektu. Poklesy a zdvihy se nejčastěji určují VPN nebo PN. V budoucnosti se dá očekávat prudký nástup metod využívajících GNSS. Svislý posun lze charakterizovat obecně vztahem [3]:

$${}^i s_{n-1,n} = {}^i V_{n-1} - {}^i V_n \quad (2.1)$$

kde: ${}^i s$ svislý posun bodu i
 n číslo etapy měření
 ${}^i V$ výšky bodu i v daných etapách

Výsledná hodnota tedy udává svislý posun mezi etapami měření zvoleného bodu.

2.2 Určování posunů ve vodorovné rovině

Určování posunů ve vodorovné rovině se nejčastěji provádí klasickými geodetickými metodami polohopisného měření [3]:

- měřickými přímkami (ordinátometrem, metodou rajónu)
- polygonometricky (polygonové pořady)
- trigonometricky (triangulací, trilaterací, protínáním)

Vodorovný posun určujeme z rozdílu polohy bodu v dané vodorovné rovině a s tím spojenou změnou souřadnic, naměřených v jednotlivých etapách měření. Matematické vyjádření této formulace a směr posunu pozorovaného bodu danou směrníkem udávají vztahy [3]:

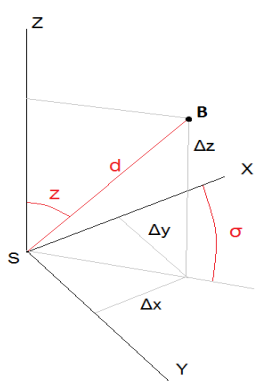
$$^i p_{n-1,n} = \sqrt{(^i X_{n-1} - ^i X_n)^2 + (^i Y_{n-1} - ^i Y_n)^2}. \quad (2.2)$$

$$^i \sigma_{n-1,n} = \arctg \frac{Y_n - Y_{n-1}}{X_n - X_{n-1}} \quad (2.3)$$

kde: $^i p$ vodorovný posun bodu i ,
 $^i \sigma$ směr posunu bodu i ,
 n číslo etapy měření,
 $^i Y_n, ^i Y_{n-1}, ^i X_n, ^i X_{n-1}$ souřadnice bodu i v daných etapách.

2.3 Prostorové určování posunů objektů

Tato metoda je, po nástupu elektronických dálkoměrů do běžné praxe, základem většiny moderních geodetických měření. Pro tento způsob určování posunů objektů je obecně použitelná prostorová polární metoda. Jejím základem je měření na jednom stanovisku. Princip metody spočívá v měření šikmých délek, vodorovných úhlů a zenitových úhlů ze známého bodu.



Obr. 4 Princip prostorové polární metody

B	určovaný bod
X,Y,Z	osy SS
$\Delta x, \Delta y, \Delta z$	souřadnicové rozdíly stanovisko-bod
σ	směrník
d	šikmá délka
z	zenitový úhel
S	stanovisko

3 Měření posunů opěrné zdi č. 8223

3.1 Popis lokality

Okolí opěrné zdi č. 8223 tvoří veřejnosti nepřístupná část areálu Městské centrální čistírny odpadních vod. Terén je převážně rovinný, zarosten hustou a vzrostlou vegetací. Část oblasti je zasypána stavební sutí. Podmínky pro měření byly po zredukování vegetace dobré.



Obr. 5 Terénní podmínky

3.2 Svislé posuny

Opěrná zeď je pro měření poklesů osazena třemi stabilizovanými čepovými značkami č. 1001, 1002 a 1003. Výškové měření jsem vedl z blízkých vztahných bodů LVS č. 8171 a č. 8169, které jsou stabilizovány tzv. těžkou stabilizací se zabudovaným šroubem pro nucenou centraci a čepovou značkou na boční straně pilíře.

3.2.1 Geometrická nivelace

Jedná se o metodu výškového měření, při níž se pomocí nivelačních přístrojů určuje převýšení mezi dvěma body. Rozlišujeme geometrickou nivelaci vpřed a ze středu. Vzhledem k zaměření této práce, bude popsána geometrická nivelace ze středu.

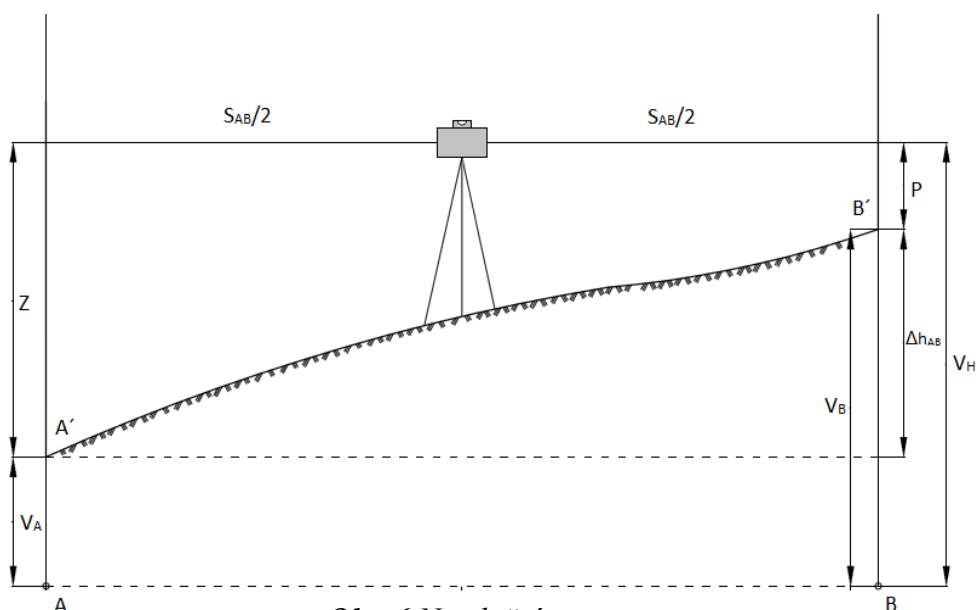
Geometrická nivelace ze středu

Princip spočívá ve vytvoření nivelačních sestav (Obr. 6), které jsou základními částmi nivelačního pořadu. Nivelační přístroj ustavíme ve středu dané sestavy a odečteme z obou nivelačních latí. Umístěním přístroje do středu nivelační sestavy minimalizujeme chybu z nevodorovnosti záměrné přímky. Tyto hodnoty umožňují vypočítat převýšení mezi dvěma měřenými body pomocí vztahu:

$$\Delta h_{AB} = Z - P \quad (2.4)$$

přičemž výsledná převýšení umožňují určit výšku kteréhokoli bodu nivelačního pořadu. Předpokladem je počátek či konec na známém bodě.

Systematické chyby spojené s geometrickou nivelací ze středu vyloučíme dodržováním předepsaných zásad pro danou metodu. Nahodilá chyba z odečtení latě se dá eliminovat použitím kódové nivelační latě.



Obr. 6 Nivelační sestava

3.2.2 Přístroje a pomůcky – výškové měření

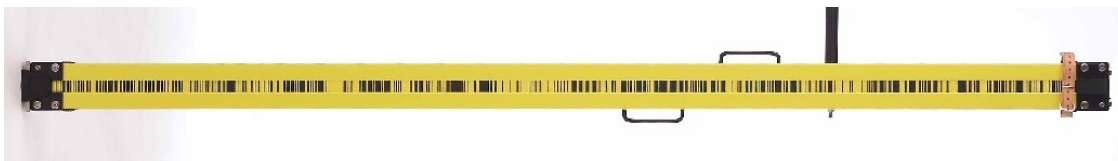
Pro výšková měření byl použit digitální nivelační přístroj Leica DNA 03 (Obr. 7), jehož specifikace jsou uvedeny v tabulce (Tab. 1). Jedná se o digitální nivelační přístroj, vybavený automatickým kompenzátorem pro korekce nevodorovnosti záměrné přímky. Přesnost je dále zvýšena invarovou kódovou nivelační latí (Obr. 9), protože tím vylučujeme chybu ze čtení na lati. Dalšími důležitými pomůckami byl stativ s pevnými nohami pro přesnou nivelaci (Obr. 8) a pásmo pro určení středu nivelační sestavy.



Obr. 7 Leica DNA 03



Obr. 8 Stativ pro PN



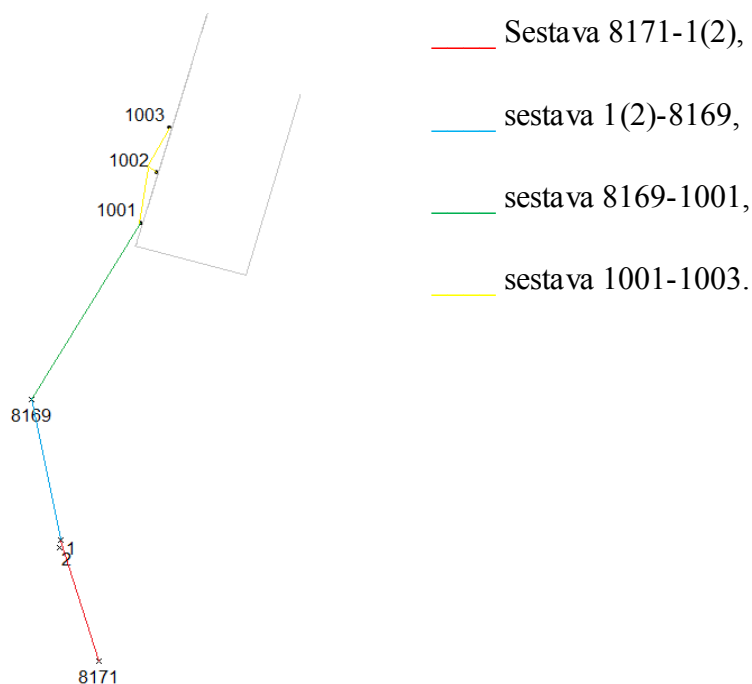
Obr. 9 Kódová nivelační lat'

Tab. 1 Vybrané technické parametry nivelačního přístroje Leica DNA 03

Střední kilometrová chyba dvojího měření	0,3mm s invarovou latí
Zvětšení dalekohledu	24x
Meze kompenzátoru	$\pm 10'$
Střední chyba kompenzátoru	0,3"

3.2.3 Metodika výškového měření

Vzhledem k nárokům na přesnost jsem zvolil geometrickou nivelaci ze středu a to metodu přesné nivelace. Nivelační pořad sestává ze dvou oddílů, přičemž žádná záměra nepřekročila délku 30m.



Obr. 10 Sestavy nivelačního pořadu

Výšky výchozích vztažných bodů (Tab. 2) byly ověřeny porovnáním mezní hodnoty $\Delta v_{mez} = 5 \cdot \sqrt{R}$, kde R je délka nivelačního oddílu v km, a rozdílů převýšení, mezi měřeními tam a zpět [2].

Tab. 2 Ověření výšek výchozích vztažných bodů č. 8171 a 8169

Výchozí výšky vztažných bodů v m (Bpv)		Oddíl 8171 - 8169						
		Etapa	R (km)	Převýšení		Δv (mm)	Δv_{mez} (mm)	$\Delta v_{mez} > \Delta v$
Bod č. 8171	Bod č. 8169			Tam (m)	Zpět (m)			
206,052	203,260	23.	0,05973	2,7917	2,7909	0,8	1,2	Splněno
		24.	0,05966	2,7906	2,7911	0,5	1,2	Splněno

Charakteristikou přesnosti pro dané výškové měření je střední kilometrová chyba z dvojí nivelace spočtená, dle [3], jako polovina středního kilometrového rozdílu:

$$m_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{n_R} \left[\frac{dd}{R} \right]}, \quad (2.5)$$

kde: n_R počet měřených oddílů,

dd kvadrát rozdílů převýšení,

R délka oddílu v km.

Tuto následně srovnáme s maximální povolenou střední kilometrovou chybou obousměrné nivelace pro PN. Ta je dána vztahem [3]:

$$m_{0_{max}} = 1,00 + \frac{1,77}{\sqrt{n_R}}, \quad (2.6)$$

přičemž musí být následně splněna podmínka $m_0 < m_{0_{max}}$.

Dosazením hodnot (Tab. 3) do výše uvedených vzorců (2.5, 2.6) byla vypočtena střední kilometrová chyba obousměrné nivelace pro PN a její mezní hodnotu. Střední kilometrová chyba vyhovuje u obou etap měření :

$$\begin{aligned} m_0 &= \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{n_R} \left[\frac{dd}{R} \right]} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{2} \cdot 10,847} = \\ &= (23.et) \underline{1,16 \text{ mm/km}} ; (24.et) \underline{0,72 \text{ mm/km}} , \\ m_{0_{max}} &= 1,00 + \frac{1,77}{\sqrt{n_R}} = 1,00 + \frac{1,77}{\sqrt{2}} = \underline{2,25 \text{ mm/km}} , \end{aligned}$$

Tab. 3 Přesnost nivelačního měření

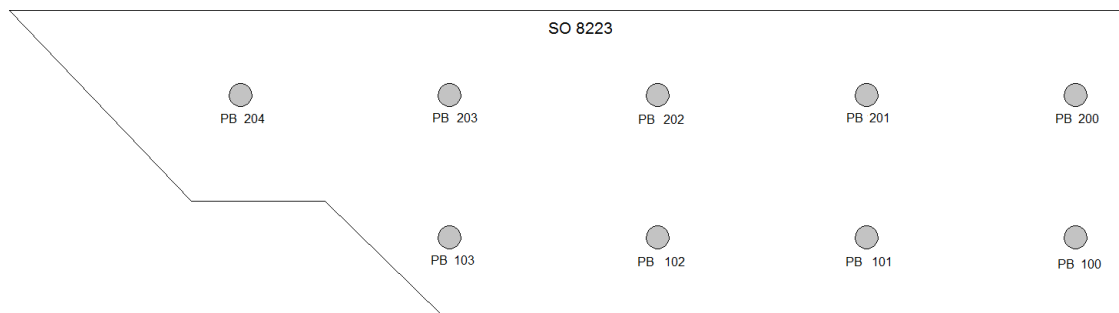
Etapa	Oddíl	R (km)	Převýšení		d (mm)	dd (mm ²)
			Tam (m)	Zpět (m)		
23.	8171 – 8169	0,05973	2,7917	2,7909	0,8	0,64
	8169 -1003	0,0757	2,0126	2,0127	0,1	0,01
24.	8171 – 8169	0,05966	2,7906	2,7911	0,5	0,25
	8169 -1003	0,07517	2,0125	2,0125	0	0

3.2.4 Výsledek měření svislých posunů

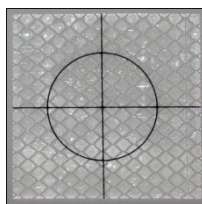
Výsledné svislé posuny byly srovnány s třetí, tedy předchozí, etapou a vloženy do přehledné tabulky (Tab. 7). Srovnání výsledných výšek lze najít v příloze (Příloha č. 1). Nivelační zápisníky byly zpracovány a vypočteny v programu MS Excel (Příloha č. 2).

3.3 Vodorovné posuny

Vlastnímu měření předcházela rekognoskace terénu, při které bylo třeba zjistit stav odrazných štítků na pozorovaných bodech, hřbové značky vztažného bodu č. 8167 a šroubů nucené centrace na pilířích vztažných bodů č. 8171 a 8169 (Obr. 13, 14). Vzhledem ke špatnému výhledu na pozorované body z bodů LVS, byl zřízen pomocný bod č. 4001. Jako orientace byly použity tři, výše zmíněné, vztažné body LVS. Pomocný bod byl stabilizován 1m dlouhou dutou železnou tyčí a je umístěn v oblasti, kde je riziko poškození, vzhledem k povaze okolí, minimální (Viz. kapitola 3.1). Souřadnice pomocného bodu č. 4001 byly určeny metodou přechodného stanoviska. Pozorované body jsou označeny odraznými štítky (Obr. 12), sloužící jako odrazná plocha dálkoměru a jejich záměrný kříž napomáhá přesnému cílení. Pozorovaných bodů je 9, přičemž jsou umístěny ve dvou řadách (Obr. 11)



Obr. 11 Rozmístění pozorovaných bodů



Obr. 12 Odrazný štítek



Obr. 13 Těžká stabilizace vztažného bodu č. 8171



Obr. 14 Těžká stabilizace vztažného bodu č. 8169

3.3.1 Polární metoda

Jedná se o jeden ze způsobů podrobného měření pro určení prvků polohopisu. Polohy bodů určujeme pomocí polárních souřadnic:

- vodorovný úhel - Úhel mezi orientačním směrem a pozorovaným bodem v rovinně horizontu přístroje.
- délka - Vzdálenost mezi stanovištěm a pozorovaným bodem v rovinně horizontu přístroje.

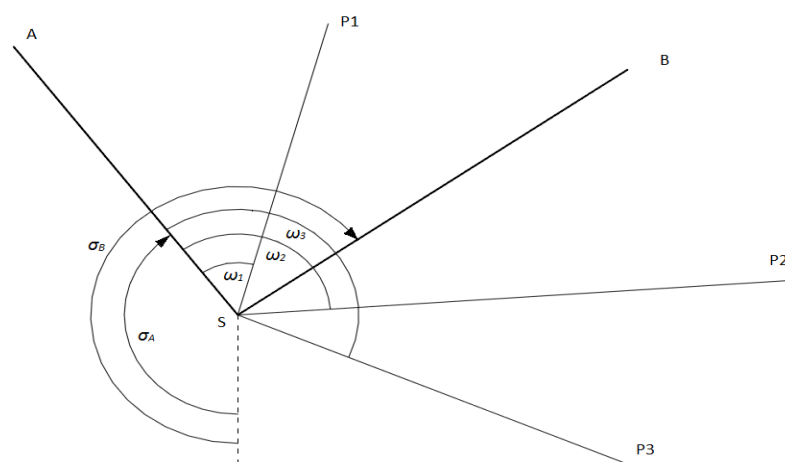
Za základní obrazec geodetických výpočtů je považován rajón. Tato spojnice známého a pozorovaného bodu je orientovaná a délkově zaměřená. Princip určení souřadnic pozorovaných bodů je velice jednoduchý, ale je podmíněn známými souřadnicemi orientačních bodů a stanoviště. Z nich vypočteme směrníky orientací a pomocí měřených vodorovných úhlů vypočteme směrníky na pozorované body:

$$\sigma_{S, Pi} = \sigma_A + \omega_i , \quad (2.7)$$

souřadnice pak následně ze vztahů:

$$X_i = X_S + s_{S,P_i} \cdot \cos \sigma_{S,P_i} , \quad (2.8)$$

$$Y_i = Y_S + s_{S,P_i} \cdot \sin \sigma_{S,P_i} . \quad (2.9)$$



Obr. 15 Metoda rajónu

3.3.2 Rozbory přesnosti pro polární metodu - problematika

Vzhledem k povaze úkolu je třeba provést rozbory přesnosti. Ty jsou nezbytnou součástí všech úkonů inženýrské geodézie, pod které měření posunů a deformací spadá. Jako nejvhodnější metoda, pro určování souřadnic bodů, se jeví metoda polární, vzhledem k časové efektivitě a možnosti použití totální stanice.

Pro větší přehlednost výpočtů bude směrník v této kapitole označen písmenem φ , aby nedocházelo k záměně se směrodatnými odchylkami označenými písmenem σ . Zároveň jsou všechny vztahy očíslovány a následné reference jsou vztaženy k tomuto číslování. Souřadnice bodu, určeného polární metodou, udávají vztahy [3]:

$$Y_P = Y_A + s_{AP} \cdot \sin \varphi_{AP} , \quad (3.1)$$

$$X_P = X_A + s_{AP} \cdot \cos \varphi_{AP} . \quad (3.2)$$

Přejdeme-li na směrodatné odchylky jednotlivých souřadnic, dostaneme [6]:

$$\sigma_{Y_P}^2 = \sigma_{Y_A}^2 + s_{AP}^2 \cdot \cos^2 \varphi_{AP} \cdot (\sigma_{\varphi_{AB}}^2 + \sigma_{\omega}^2) + \sin^2 \varphi_{AP} \cdot \sigma_{s_{AP}}^2, \quad (3.3)$$

$$\sigma_{X_P}^2 = \sigma_{X_A}^2 + s_{AP}^2 \cdot \sin^2 \varphi_{AP} \cdot (\sigma_{\varphi_{AB}}^2 + \sigma_{\omega}^2) + \cos^2 \varphi_{AP} \cdot \sigma_{s_{AP}}^2, \quad (3.4)$$

kde: $\sigma_{Y_A}^2, \sigma_{X_A}^2$	směrodatné odchylky výchozího bodu v jednotlivých souřadnicích,
$\sigma_{Y_P}^2, \sigma_{X_P}^2$	směrodatné odchylky pozorovaného bodu v jednotlivých souřadnicích
s_{AP}	měřená délka mezi stanovištěm a pozorovaným bodem
φ_{AP}	směrník strany AP
$\sigma_{\varphi_{AB}}^2$	směrodatná odchylka orientačního směrníku,
σ_{ω}^2	směrodatná odchylka měřeného úhlu
$\sigma_{s_{AP}}^2$	směrodatná odchylka měřené délky s_{AP}

Výchozím vztahem pro určení směrodatné odchylky měřeného úhlu a směrodatné odchylky měřené délky bude vztah (3.5):

$$\sigma_{X_P, Y_P}^2 = \frac{\sigma_{X_A, Y_A}^2 + s_{AP}^2 \cdot \sigma_{\varphi_{AB}}^2 + \sigma_{s_{AP}}^2 + s_{AP}^2 \cdot \sigma_{\omega}^2}{2}. \quad (3.5)$$

Směrodatnou odchylku měřeného úhlu vypočteme pomocí úpravy vztahu (3.5) dle [6], a sice do tvaru pro zvolenou zásadu stejného vlivu:

$$\sigma_{s_{AP}}^2 = s_{AP}^2 \cdot \sigma_{\omega}^2 = 2 \cdot \sigma_{X_P, Y_P}^2 - \sigma_{X_A, Y_A}^2 - s_{AP}^2 \cdot \sigma_{\varphi_{AB}}^2, \quad (3.6)$$

a další úpravou si vyjádříme směrodatnou odchylku měřeného úhlu:

$$\sigma_{\omega} = \rho \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_{X_P, Y_P}^2 - \sigma_{X_A, Y_A}^2 - s_{AP}^2 \cdot \sigma_{\varphi_{AB}}^2}{s_{AP}^2}}, \quad (3.7)$$

kde: ρ převodní koeficient obloukové míry na setinné dělení
($1 \text{ rad} = 63,6620^g$)

Směrodatnou odchylku měřené délky vyjádříme opět úpravou vztahu (3.6):

$$\sigma_{s_{AP}} = \sqrt{2 \cdot \sigma_{X_P, Y_P}^2 - \sigma_{X_A, Y_A}^2 - s_{AP}^2 \cdot \sigma_{\varphi_{AB}}^2} \quad (3.8)$$

Výpočet dílčích neznámých je proces, kdy je třeba neznámé členy důležitých vztahů vyjádřit z jiných výrazů. V této fázi je jedinou známou hodnotou měřená délka mezi stanovištěm a pozorovaným bodem s_{AP} .

Směrodatná souřadnicová odchylka pozorovaného bodu (σ_{X_P, Y_P}) je definována vztahem [5]:

$$\sigma_{X_P, Y_P} = \frac{\delta_{X_P, Y_P}}{U_P} \quad (3.9)$$

kde: $\delta_{X_P, Y_P} = \frac{2}{15} \cdot p$ mezní odchylka posunu měřeného bodu kde p je očekávaný posun objektu daný projektem, (pro opěrnou zeď č. 8223 $p = 50 \text{ mm}$),
 U_P koeficient spolehlivosti $U_P = 2$ (daný pro opěrnou zeď č. 8223).

Směrodatná souřadnicová odchylka výchozího bodu (σ_{X_A, Y_A}) je definována vztahem [3]:

$$\sigma_{X_A, Y_A} = \sqrt{\sigma_{X, Y}^2 + \sigma_c^2}, \quad (3.10)$$

kde: $\sigma_{X, Y}$ přesnost souřadnic výchozího bodu. Při stabilizaci železnou tyčí přesnost určení souřadnic $\sigma_{X, Y} = 5 \text{ mm}$.

σ_c přesnost dostředění přístroje nad výchozí bod, stabilizovaný železnou tyčí, optickým dostředovačem. [5] $\sigma_c = 0,3 - 0,7 \text{ mm}$.

Směrodatná odchylka přípojovacího směrniku je definována vztahem [3]:

$$\sigma_{\varphi_{AB}} = \rho \cdot \frac{\sigma_{X, Y}}{s_{AB}} \cdot \sqrt{2} \quad (3.11)$$

kde: $\sigma_{X, Y}$ přesnost souřadnic výchozích bodů A, B z nichž byl orientační směrnik φ_{AB} počítán,

s_{AB} délka strany AB

ρ převodní koeficient (3.7)

Stanovení potřebného počtu opakování nám udává, v kolika skupinách je zapotřebí měřit vodorovné úhly. Při tomto procesu vycházíme ze vztahu [3]:

$$n = \frac{\sigma_{\omega_0}^2}{\sigma_{\omega'}^2}, \quad (3.12)$$

kde: σ_{ω_0} směrodatná odchylka měřeného směru v obou polohách dalekohledu
 $\sigma_{\omega_0} = \sigma_{r_0} \cdot \sqrt{2}$, hodnota σ_{r_0} je udávána výrobcem.

$\sigma_{\omega'}$ směrodatná odchylka úhlu měřeného v jedné poloze dalekohledu
 $\sigma_{\omega'} = \frac{\sigma_{\omega}}{U_p}$, přičemž $U_p = 2$ (stanoveno viz. 3.9).

3.3.3 Rozbory přesnosti pro polární metodu - aplikace

Bod č. 4001 je určen s nižší přesností, vzhledem ke stabilizaci železnou tyčí. Existuje zde předpoklad, že se projeví větší směrodatná souřadnicová odchylka výchozího bodu. Pro tento výpočet zvolíme orientaci na bod č. 8171. Rozbory přesnosti stanovíme pro nejdelší a nejkratší měřenou délku, a to kvůli jejich předpokládanému největšímu vlivu na určované směrodatné odchylky. Souřadnice daných bodů (Tab. 4).

Tab. 4 *Souřadnice daných bodů*

Bod č.	Y	X
4001	472679.013	1099102.300
8171	472661,980	1099217,870

Pro nejkratší měřenou délku $s_{AP} = s_{4001-110} = 30,384 \text{ m}$

Pro nejkratší měřenou délku $s_{AP} = s_{4001-410} = 45,440 \text{ m}$

$s_{AB} = s_{4001-8171} = 116,831 \text{ m}$

Směrodatná odchylka měřeného bodu (σ_{x_p, y_p}) - předně je nutné si vypočíst odchylku posunu měřeného bodu a dosadit ji do vztahu (3.9)

$$\delta_{X_P, Y_P} = \frac{2}{15} \cdot p = \frac{2}{15} \cdot 50 = \underline{6,67 \text{ mm}}$$

$$\sigma_{X_P, Y_P} = \frac{\delta_{X_P, Y_P}}{U_P} = \frac{6,67}{2} = \underline{3,33 \text{ mm}}$$

Směrodatná souřadnicová odchylka výchozího bodu - vyplývá ze vztahu (3.10).

$$\sigma_{X_A, Y_A} = \sqrt{\sigma_{X, Y}^2 + \sigma_c^2} = \sqrt{25 + 0,49} = \underline{5,05 \text{ mm}}$$

Směrodatná odchylka připojovacího měrníku - vyplývá ze vztahu (3.11).

$$\sigma_{\varphi_{AB}} = \rho \cdot \frac{\sigma_{X, Y}}{s_{AB}} \cdot \sqrt{2} = 63,6620 \cdot \frac{0,005}{116,831} \cdot \sqrt{2} = 0,0039^g \cong \underline{4 \text{ mgon.}}$$

Všechny tyto dílčí výsledky nyní dosadíme do vztahu (3.7) a vypočteme směrodatnou odchylku měřeného úhlu (σ_ω) pro:

-nejkratší měřenou délku,

$$\begin{aligned} \sigma_\omega &= \rho \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_{X_P, Y_P}^2 - \sigma_{X_A, Y_A}^2 - s_{AP}^2 \cdot \sigma_{\varphi_{AB}}^2}{s_{AP}^2}} = \\ &= 63,6620 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 3,33^2 - 5,05^2 - (30,384 \cdot 10^3)^2 \cdot (6,28 \cdot 10^{-5})^2}{(30,384 \cdot 10^3)^2}} = 0,0054^g \cong 5 \text{ mgon}, \end{aligned}$$

- nejdelší měřenou délku,

$$\begin{aligned} \sigma_\omega &= \rho \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_{X_P, Y_P}^2 - \sigma_{X_A, Y_A}^2 - s_{AP}^2 \cdot \sigma_{\varphi_{AB}}^2}{s_{AP}^2}} = \\ &= 63,6620 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 3,33^2 - 5,05^2 - (45,440 \cdot 10^3)^2 \cdot (6,28 \cdot 10^{-5})^2}{(45,440 \cdot 10^3)^2}} \cong 0,0047^g \cong 5 \text{ mgon}. \end{aligned}$$

Následuje výpočet směrodatné odchylky měřené délky ($\sigma_{s_{AP}}$) pro:

-nejkratší měřenou délku,

$$\begin{aligned} \sigma_{s_{AP}} &= \sqrt{2 \cdot \sigma_{X_P, Y_P}^2 - \sigma_{X_A, Y_A}^2 - s_{AP}^2 \cdot \sigma_{\varphi_{AB}}^2} = \\ &= \sqrt{2 \cdot 3,33^2 - 5,05^2 - (30,384 \cdot 10^3)^2 \cdot (6,28 \cdot 10^{-5})^2} \cong 3 \text{ mm} \end{aligned}$$

-nejdelší měřenou délku,

$$\sigma_{s_{AP}} = \sqrt{2 \cdot \sigma_{X_P, Y_P}^2 - \sigma_{X_A, Y_A}^2 - s_{AP}^2 \cdot \sigma_{\varphi_{AB}}^2} =$$

$$= \sqrt{2 \cdot 3,33^2 - 5,05^2 - (45,440 \cdot 10^3)^2 \cdot (6,28 \cdot 10^{-5})^2} \cong 4 \text{ mm}$$

3.3.4 Výsledky rozborů přesnosti

Zohledníme-li výsledky rozborů přesnosti pro měření polární metodou na opěrné zdi č. 8223, je zřejmé, že je třeba zvolit dálkoměrný přístroj s přesností měření délek minimálně 3 mm. Pro měření úhlů je třeba přístroje s přesností čtení 5 mgon. Tyto požadavky splňuje, z nám dostupných přístrojů, totální stanice Topcon GPT-7001 (Tab. 6, Obr. 16). Této totální stanici se budeme více věnovat v kapitole 3.3.7.

3.3.5 Stanovení potřebného počtu skupin měření

Dalším krokem, je stanovení potřebného počtu skupin měření vodorovných úhlů v dvou polohách dalekohledu tak, aby bylo možno dosáhnout požadované přesnosti se zvolenou totální stanicí. Pro určení počtu skupin měření použijeme vztah (3.12):

$$n = \frac{\sigma_{\omega 0}^2}{\sigma_{\omega I}^2} = \frac{(\sigma_{r_0} \cdot \sqrt{2})^2}{\left(\frac{\sigma_{\omega}}{U_p}\right)^2} = \frac{(0,3 \cdot \sqrt{2})^2}{\frac{5}{2}} = 0,029 \cong \underline{1}$$

přičemž:

$$\sigma_{r_0} = 0,3 \text{ mgon},$$

$$\sigma_{\omega} = 5 \text{ mgon}.$$

Vodorovné úhly tedy budeme měřit v jedné skupině.

3.3.6 Směrodatné odchylky v souřadnicových osách

Protože předpokládané posuny jsou mezi jednotlivými etapami poměrně malé, je třeba posoudit, zda naměřené hodnoty opravdu indikují posun. Stanovením směrodatných odchylek v jednotlivých souřadnicových osách posoudíme, zda se skutečně jedná o posun, či jen nepřesnost měření.

Podobně jako v kapitole 3.3.3 stanovíme směrodatné odchylky pro nejdelší a nejkratší měřenou délku, a to kvůli jejich předpokládanému největšímu vlivu. Díky této skutečnosti můžeme použít vypočtené hodnoty z rozborů přesnosti výše uvedené kapitoly. Vztahy použité pro tento výpočet jsou [5]:

$$\sigma_{Y_p} = \sqrt{\sigma_{Y_A}^2 + s_{AP}^2 \cdot \cos^2 \varphi_{AP} \cdot (\sigma_{\varphi_{AB}}^2 + \sigma_{\omega}^2) + \sin^2 \varphi_{AP} \cdot \sigma_{s_{AP}}^2} \quad (3.13)$$

$$\sigma_{X_p} = \sqrt{\sigma_{X_A}^2 + s_{AP}^2 \cdot \sin^2 \varphi_{AP} \cdot (\sigma_{\varphi_{AB}}^2 + \sigma_{\omega}^2) + \cos^2 \varphi_{AP} \cdot \sigma_{s_{AP}}^2} \quad (3.14)$$

Tab. 5 Vypočtené hodnoty

	Nejdelší měřená délka	Nejkratší měřená délka
$\sigma_{Y_A} = \sigma_{X_A}$	5,05 mm	5,05 mm
s_{AP}	45 440 mm	30 384 mm
φ_{AP}	4,17 rad	4,89 rad
$\sigma_{\varphi_{AB}}$	$6,28 \cdot 10^{-5}$ rad	$6,28 \cdot 10^{-5}$ rad
σ_{ω}	$7,85 \cdot 10^{-5}$ rad	$7,85 \cdot 10^{-5}$ rad
$\sigma_{s_{AP}}$	4 mm	3mm

Doplněním vypočtených hodnot (Tab. 5) dostaneme následující hodnoty.

Pro nejkratší měřenou délku:

$$\sigma_{Y_p} \cong 5,9 \text{ mm}$$

$$\sigma_{X_p} \cong 5,9 \text{ mm}$$

Pro nejdelší měřenou délku:

$$\sigma_{Y_p} \cong 6,5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{X_p} \cong 6,7 \text{ mm}$$

Po zprůměrování výsledných hodnot dostaneme směrodatné odchylky v jednotlivých souřadnicových osách.

$$\sigma_{Y_p} \cong \underline{6 \text{ mm}}$$

$$\sigma_{X_p} \cong \underline{6 \text{ mm}}$$

Z výsledných směrodatných odchylek pro jednotlivé souřadnicové osy vyplývá, že naměřené horizontální posuny do 6 mm mohou být pouze nepřesností měření, nikoli skutečným posunem.

3.3.7 Přístroje a pomůcky - měření vodorovných posunů

K zadanému úkolu bylo třeba dvou stativů, tří odrazných hranolů a vybrané totální stanice.

TS Topcon GPT 7001

Ačkoli je tato TS starším modelem, stále ji lze řadit mezi špičkové přístroje. Přesnost tohoto přístroje vyhovuje všem stanoveným podmínkám. Samotný přístroj je robustní, vlhkotěsný a prachuvzdorný. Je vybaven optickým centrovačem a pulzním dálkoměrem. Interface je tvořen kapacitním dotykovým displejem a numerickou klávesnicí s dalšími funkčními klávesami. Zvolený operační systém Windows CE je přes řadu nevýhod uživatelsky přívětivý a dovoluje pohodlně využívat veškeré programové vybavení. Vybrané parametry [13] jsou pak prezentovány na str. 21 (Tab. 6).



Obr. 16 TS Topcon GPT-7001

Tab. 6 Vybrané parametry totální stanice TOPCON GPT-7001

TOPCON GPT-7001	
Zorné pole	1°30'
Zvětšení dalekohledu	30 x
Dosah dálkoměru (bez odrazu. /s odrazem)	250 m / 3000 m
Přesnost délkového měření (do 25m / nad 25m)	$\pm 3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm} / \pm 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$
Přesnost úhlového měření	0,3 mgon
Kompenzátor	Dvouosý, kapalinový
Střední chyba kompenzátoru	0,1 mgon

3.3.8 Metodika měření vodorovných posunů

Pro obě etapy měření byla zvolena polární metoda. V předchozích kapitolách jsme si stanovili potřebný počet skupin měření (3.3.5) a popsali jsme zvolené stanoviště a orientace osnovy směrů (3.3). Celé měření tedy bylo provedeno v jedné skupině a ve dvou polohách dalekohledu. Cílení na pozorované body bylo díky odrazným štítkům bezproblémové. Přesnost měření byla dále zvýšena měřením v brzkých ranních hodinách bez přímých slunečních paprsků na stroji, měřeném objektu a odrazných hranelech.

3.3.9 Zpracování naměřených dat

Pro zpracování naměřených dat byl použit program GROMA v.6. Práce s tímto zvoleným programem byla rychlá a bezproblémová. Vyexportovaná data z totální stanice (formát GTS7) byla převedena na formát ASC, pod kterým GROMA identifikuje měření přístrojem Topcon. Následovala rychlá kontrola naměřených dat a zpracování zápisníku, při kterém GROMA zredukovala směry na 0^s a zpracovala také ostatní data měřená ve dvou polohách dalekohledu. V této fázi bylo možno vypočíst souřadnice všech pozorovaných bodů pomocí funkce *polární metoda*. Protokoly z těchto operací jsou přiloženy k této práci (Přílohy č. 4 a 5).

3.3.10 Výsledky vodorovných posunů

Výsledkem měření jsou souřadnice pozorovaných bodů v S-JTSK v jednotlivých etapách měření. Pro větší přehlednost jsou výsledné posuny prezentovány v přehledné tabulce (Tab. 8), kde je zřetelný vývoj ve sledovaném období.

4 Závěrečná prezentace naměřených posunů a deformací

V této kapitole jsou shrnuty výsledky měření do tabulek, které vystihují vývoj svislých s vodorovných posunů v jednotlivých etapách. Samotné souřadnice pozorovaných bodů jsou prezentovány v příloze č. 2. Naměřené výšky jsou prezentovány v příloze č. 1.

Tab. 7 Shrnutí svislých posunů (Bpv)

Bod	Etapa		
	24-Z	23-Z	22-Z
	Výškové rozdíly oproti základní poloze (mm)		
1001	-62	-61	-60
1002	-62	-63	-62
1003	-44	-45	-44

Tab. 8 Shrnutí vodorovných posunů (S-JTSK)

Bod	Etapa									
	31				30				29	
	31-30	31-Z	31-30	31-Z	30-29	30-Z	30-29	30-Z	29-Z	29-Z
	Osa y		Osa x		Osa y		Osa x		Osa y	Osa x
100	-1	42	-2	10	-4	43	2	12	47	10
101	0	81	-2	-1	2	81	0	1	79	1
102	2	71	-2	-10	-2	69	-2	-8	71	-6
103	3	64	-1	-5	-3	61	-1	-4	64	-3
200	0	57	1	11	-2	57	1	10	59	9
201	0	95	2	-2	10	95	-2	-4	85	-2
202	2	87	1	-16	6	85	-7	-17	79	-10
203	2	74	2	-14	4	72	-5	-16	68	-11
204	5	53	-3	-12	-	48	-	-9	-	-

5 Závěr

Měření svislých posunů, pro něž byla zvolena metoda přesné nivelace a nivelační přístroj Leica DNA-03, prokázalo, že jižní část zdi (čepová značka č. 1001) stále velice pomalu sedá, zatímco střední a severní část opěrné zdi se zřejmě ustálily. Jak je patrné ze závěrečného vyhodnocení svislých posunů, mezi čepovou značkou 1003 a dvěma dalšími značkami je dvoucentimetrový rozdíl v poklesu. Tento rozdíl je v mezích daných projektem, díky pružné konstrukci opěrné zdi. Celkové poklesy jsou taktéž v mezích stanovených projektem.

Při měření vodorovných posunů bylo aplikováním polární metody a volbou totální stanice Topcon GPT-7001 prokázáno vyboulení střední části zdi. Jak je patrné ze závěrečného vyhodnocení vodorovných posunů (Tab. 8), dochází, zejména v bodech 101,102, 201, 202, k značným příčným posunům (osa Y). Tyto posuny směrem od osy opěrné zdi překračují předpokládaný posun 5cm.

Při polohovém měření se vyskytovaly délkové odchylky, vykazující systematický charakter (Příloha č. 5). Jedná se o stávající body LVS (8171, 8169, 8167). Pro další měření posunů a deformací na opěrné zdi č. 8223 by bylo vhodné tyto body ověřit.

Samotný monitoring posunů a deformací stavebních konstrukcí se projevil jako úkol náročný na přesnost a pravidelnost kontrolních měření. Je zřejmé, že jakákoli chyba, ať už ve fázi výstavby, či ve fázi geologického průzkumu a projektování, má dlouhodobý vliv na chování konstrukce a může vést k nepředvídaným problémům.

Seznam použité literatury a zdrojů

Použitá literatura:

- [1] ČSN 73 0405 *Měření posunů stavebních objektů*
- [2] NOVÁK, Z., PROCHÁZKA, J. *Inženýrská geodézie 10, ČVUT, Praha 2001*
- [3] SCHENK, J. *Měření pohybů a deformací v poklesové kotlině, VŠB – TU Ostrava 2005*
- [4] BÖHM, J., SVOBODA, J. *Geometrická nivelace. 1.vyd. Praha: SNTL n. p., 1960*
- [5] ŠVÁBENSKÝ, O., VITULA, A., BUREŠ, J. *Inženýrská geodézie I, Základy inženýrské geodézie, VUT, Brno 2006*
- [6] ŠVÁBENSKÝ, O., VITULA, A., BUREŠ, J. *Inženýrská geodézie I, Návodů ke cvičením, VUT, Brno 2006*
- [7] HÁNEK, J., KOZA, P., HÁJEK jr., P. *Geodézie pro SPŠ stavební*

Internetové zdroje:

- [8] <http://www.geomat.cz/system-armovia/255> (ze dne 5. 2. 2012)
- [9] <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/armovia-operne-zdi-z-vyztuzenezeminy/>
(ze dne 9. 2. 2012)
- [10] http://www.cideas.cz/free/okno/technicke_listy/4tlv/TL07CZ_1332-4.pdf
(ze dne 12. 2. 2012)
- [11] http://www.fce.vutbr.cz/veda/juniorstav2008_sekce/pdf/2_3/Cihlarova_Denisa_CL.pdf
(ze dne 12. 2. 2012)
- [12] http://www.drotest.com.pl/index.php?a=P_1&sid=&uid (ze dne 12. 2. 2012)
- [13] <http://www.topcon.com.sg/survey/gpt70.html> (ze dne 14. 2. 2012)
- [14] <http://www.gefos-leica.cz/cz>

Seznam obrázků

Obr. 1	Příčný řez konstrukcí zdi [9]	Str. 2
Obr. 2	Geomříž Tensar RE [12]	Str. 3
Obr. 3	Konstrukční schéma [11]	Str. 3
Obr. 4	Princip prostorové polární metody	Str. 5
Obr. 5	Terénní podmínky	Str. 6
Obr. 6	Nivelační sestava	Str. 7
Obr. 7	Leica DNA 03	Str. 8
Obr. 8	Stativ pro PN [14]	Str. 8
Obr. 9	Kódová nivelační lať [14]	Str. 8
Obr. 10	Sestavy nivelačního pořadu	Str. 9
Obr. 11	Rozmístění pozorovaných bodů	Str. 11
Obr. 12	Odrazný štítek	Str. 11
Obr. 13	Těžká stabilizace vztažného bodu č. 8171	Str. 12
Obr. 14	Těžká stabilizace vztažného bodu č. 8169	Str. 12
Obr. 15	Metoda rajónu	Str. 13
Obr. 16	TS Topcon GPT-7001 [13]	Str. 20

Seznam tabulek

Tab. 1	Vybrané technické parametry nivelačního přístroje Leica DNA 03	Str. 8
Tab. 2	Ověření výšek výchozích vztažných bodů č. 8171 a 8169	Str. 9
Tab. 3	Přesnost nivelačního měření	Str. 10
Tab. 4	Souřadnice daných bodů	Str. 16
Tab. 5	Vypočtené hodnoty	Str. 19
Tab. 6	Vybrané parametry totální stanice TOPCON GPT-7001	Str. 21
Tab. 7	Shrnutí vodorovných posunů (S-JTSK)	Str. 22
Tab. 8	Shrnutí vodorovných posunů (S-JTSK)	Str. 22